

РАДАРИ И СОНАРИ ПРОШИРЕНОГ СПЕКТРА СА ПРОМЕНЉИВИМ ТРАЈАЊЕМ ИМПУЛСА

Алекса Ј. Зејак, *Институт ИМТЕЛ, Бул. М. Пушина 165-Б, 11070 Н. Београд, zejak@zormi.com*
 Игор Симић, *Ericsson d.o.o., Владимира Појовића 6, 11070 Београд; igor.simic@eyu.ericsson.se*

Садржај - Да би се повећао максимални домет радара који је одређен укупном израченом енергијом потребно је повећати дужину импулса. Међутим, дужим импулсима слепи зона радара се повећава, односно повећава се ефекат замрачења. У овом раду предложено је концепт радара/сонара проширеног спектра са променљивим трајањем импулса као један од могућих начина за превазилажење проблема замрачења.

1 УВОД

Пред пројектанте савремених радарских и сонарских уређаја постављају се истовремени а контрадикторни захтеви:

- максимални домет,
- максимална резолуција,
- минимална вршна снага предајника.

Ови захтеви истовремено се могу задовољити ако се импулс модулише поступцима којима се постиже велики ТВ производ (time bandwidth products) [1,2 3,4,8]. У комуникацијама се овакав поступак назива ширењем спектра, а у радарској и сонарској техници - компресија импулса.

Максимални домет радара одређен је укупном израченом енергијом што захтева примену импулса дужег трајања. Међутим, дужим импулсима, без обзира да ли је компресија импулса примењена, повећава се слепи зона радара [5, 6, 7].

У овом раду предложено је радар/сонар проширеног спектра са променљивим трајањем импулса као један од могућих начина за превазилажење проблема замрачења код екстремно дугих импулса.

Полазни захтев можемо формулисати овако: формирати радарски сигнал који у задатом временском интервалу омогућава да свака позиција по даљини између минималне слепе зоне и максималног једнозначног домета буде бар једном "виђена".

2 ПАКЕТ ИМПУЛСА ПРОМЕНЉИВОГ ТРАЈАЊА

Изложићемо општи облик радарског сигнала са променљивим трајањем импулса приказаног на слици 1. Математички, генерализовани облик сигнала $\mu(t)$ дефинисан је овако:

$$\mu(t) = \frac{1}{\sqrt{LT_l}} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{N_l} \mu_{l,n}^{q_{l,n}}(t - lT_R - nT_l) \quad (2.1)$$

где је :

L - број импулса у једном пакету импулса,

T_l - ширина l -тог импулса,

N_l - број подимпулса у l -том импулсу,

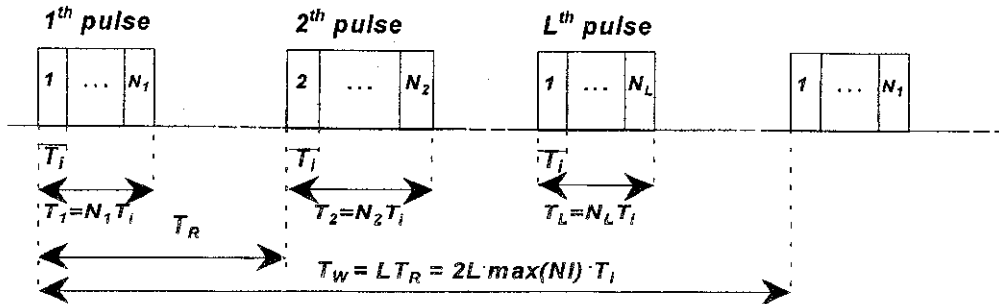
$q_{l,n}$ - кодни симбол n -тог подимпулса у l -том импулсу

T_R - периода понављања импулса (PRI),

T_l - ширина подимпулса,

$\mu_{l,n}^{q_{l,n}}(t)$ - нормализовани предајни сигнал дужине T

За наш приказ узмемо да је први импулс у поворци T_l најкраћи, а да је задњи импулс најдужи: $T_{max} = T_L$.



Слика 1. Пакет радарских импулса променљивог трајања.

Такође ћемо узети да је од једног до следећег импулса инкремент једнак трајању једног подимпулса, тј: $T_i - T_{i-1} = T_i$. Такође ћемо узети да је најдужи импулс мањи или једнак четвртини трајања пакета импулса: $T_{max} \leq T_p / 4$, односно да је максимални фактор испуне 25%. Иначе, у општем случају промена дужине трајања импулса може бити по неком другачијем редоследу, на пример- од дужег према краћем, или по псеудослучајном редоследу.

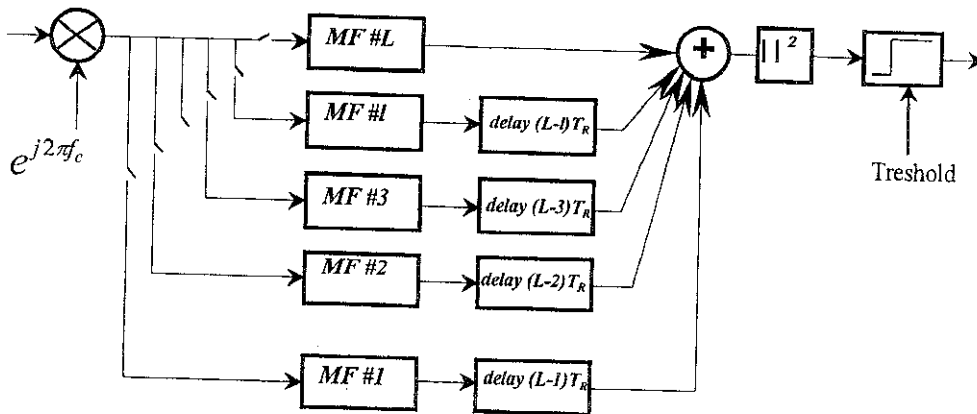
Оваква конфигурација пакета радарских импулса различитог трајања обезбеђује довољан домет дугим импулсима а краћим импулсима обезбеђује видљивост на краћим растојањима, која би иначе, била у зони замрачења дугог импулса. Овакав радарски сигнал рационалан је и са становишта осетљивости по даљини (Range/Time sensitive control). Наиме, за мања растојања потребна је мања рефлектована снага него што је потребна са већих растојања за исту рефлексну површину циља. Због тога је код класичних радара била неопходна

аутоматска контрола појачања пријемног појачавача по оси даљине, односно, времену.

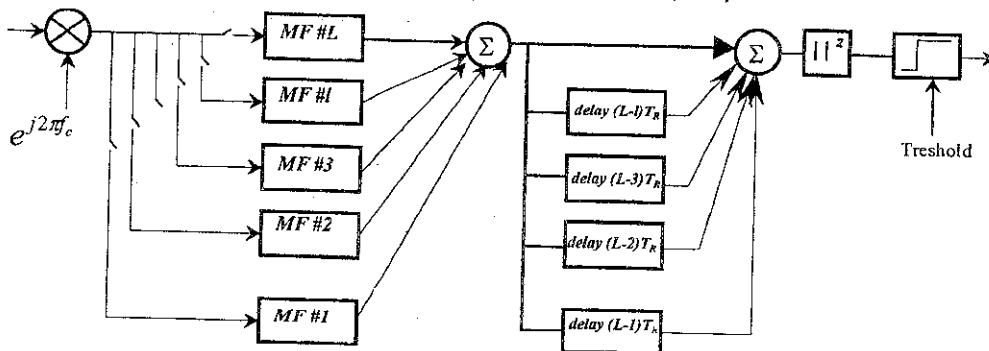
3 ПРИЈЕМНИК ПАКЕТА ИМПУЛСА

Шематски приказ пријемника оваквог сигнала дат је на слици 2. Овакав поступак детекције може се посматрати као класичан поступак интеграције на пакету од L радарских импулса. Једина разлика је у томе што је у нашем случају променљиво трајање импулса. Интеграција на дугом пакету импулса за случај брзих покретних циљева, може бити неподесна па је тада могућа архитектура пријемника према слици 3.

Овакав поступак детекције представља неку врсту кумулативне интеграције од импулса до импулса на пакету импулса. Приказ рефлексије првог импулса од блиских циљева не чека на импулсе који претражују по даљини. С друге стране, детекција најудаљенијих циљева обавља се интеграцијом целог пакета импулса.



Слика 2. Пријемник са интеграцијом на пакету импулса.



Слика 3. Пријемник са кумулативном интеграцијом на пакету импулса.

4 СЕКВЕНЦЕ ЗА МОДУЛИСАЊЕ ПАКЕТА ИМПУЛСА

Избор секвенци за модулисање пакета импулса тема је за себе и има низ специфичности проистеклих из природе обраде импулса променљивог трајања. Овде ћемо размотрити опште принципе и анализирати један пример.

Ако бисмо се одлучили за континуалне модуларације, предност би имала линеарна фреквенцијска модуларација (линеарни чирп). Предности чирпа у овом случају следе из својства да је сваки временски одсечак чирпа такође чирп. То поједностављује генерисање и пријем сигнала за предложени пакет импулса са променљивим трајањем.

У тражењу, или пројектовању секвенци са фазним модуларацијама, можемо кренути у два правца:

Први је вођен критеријумом сличности са чирпом. Потребан нам је скуп секвенци различитих дужина конструисан тако да се краћа секвенца садржи у дужој. Овај правац нас води ка чирпу сличним секвенцама којима припадају Франкове секвенце Р секвенце итд.

Други правац је вођен критеријумом сличности са комплементарним секвенцама. Познато је да сума аутокорелативних функција (здружена аутокорелативна функција) скупа комплементарних секвенци даје усамњени импулс без бочних лобова. Дакле, у нашем случају потребан нам је скуп комплементарних секвенци различитих дужина. Истовремено нам је потребно да појединачне секвенце имају добру аутокорелативну функцију - због конфигурације пријемника са кумулативним сумирањем, приказаног на слици 3.

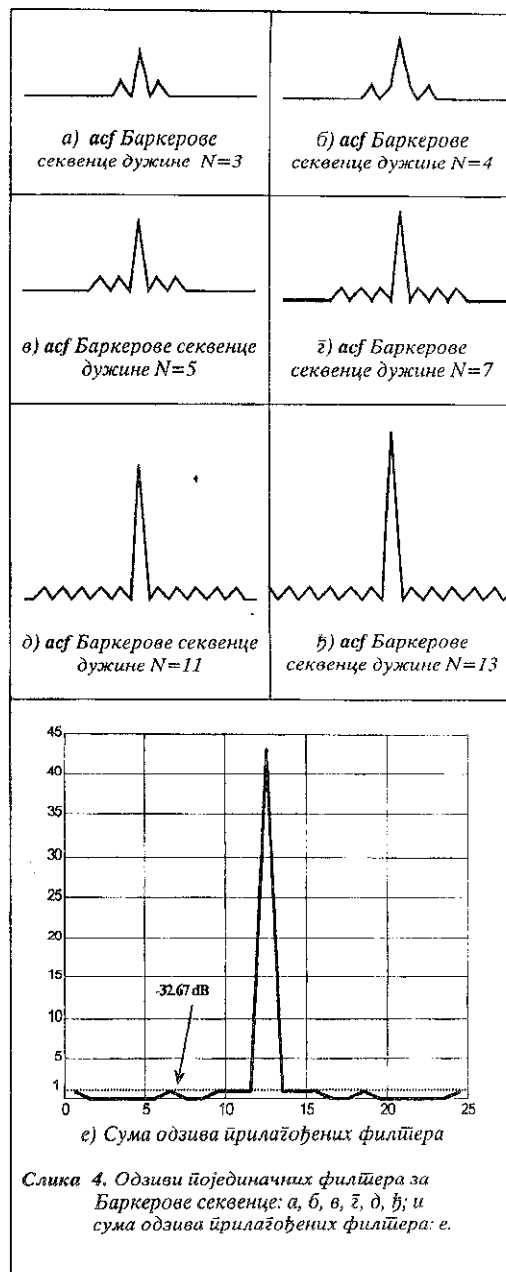
Трагање за погодним скупом секвенци довело нас је до свима познатих бинарних **Баркер**ових секвенци где нас је чекало пријатно изненађење.

Познато је да бочни лобови аутокорелативне функције Баркерових секвенци имају вредности из скупа $\{-1, 0, 1\}$. Ово је изванредно својство, али, на жалост Баркерове секвенце постоје само за дужине 2, 3, 4, 5, 7, 11 и 13.

Ако искористимо све Баркерове секвенце од дужине 3 до дужине 13, добијамо Баркеров скуп секвенци, јер апсолутна вредност максималних бочних лобова такође једнака "1", као и код појединачних Баркерових секвенци.

То својство можемо одржати и у току кумулативне интеграције, тако што ћемо редослед секвенци поставити у складу са предзнаком бочних лобова, водећи рачуна да се не сабирају него поништавају.

На слици 4 дати су облици сигнала на излазу појединачних прилагођених филтера за примењени скуп Баркерових сигнала.



5 ЗАКЉУЧАК

Предложен је концепт синтезе радарског, односно сонарског сигнала за примене код којих је потребно остварити довољан домет уз ограничену вршну снагу предајника. Променљивом дужином трајања импулса решава се проблем покривања растојања, која би иначе била у зони замрачења дугог предајног импулса. Показано је, такође да је скуп Баркерових секвенци веома погодан за примену у синтези предложеног облика сигнала.

Даља истраживања на овом пољу бавиће се следећим проблемима:

- Синтеза и избор скупова секвенци за пакет импулса са променљивим трајањем;
- Анализа зоне замрачења;
- Синтеза пакета импулса са променљивом дужином трајања импулса и са променљивом периодом понављања импулса а са константним фактором испуне, односно са константном енергетском ефикасношћу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. E. Cook, M. Bernfeld, "Radars signals - an introduction to theory and application", *Academic Press*, New York, 1967.
- [2] A. W. Rihaczek, "Principles of high-resolution radar", McGraw-Hill, New York, 1969.
- [3] L. R. Rabiner, B. Gold, "Theory and application of digital signal processing", Prentice-Hall, inc., New Jersey, 1975.
- [4] D. K. Barton, "Pulse compression", Radars, Volume 3, Artech House, Norwood MA, 1975.

- [5] E.R.Billam, "Eclipsing effects with high-duty-factor waveforms in long-range radar", IEE Proceedings, Vol.132, No.7, pp.598-603, Dec. 1985
- [6] Алекса Ј. Зејак, Бојан М. Зрнић, "Анализа ефекта замрачења у чирп радарима помоћу функције неодређености", у зборнику радова *XLII конференција ЕТРАН*, Златибор 1999, свеска II, стр. 130-132
- [7] Bojan Zrnić, Aleksa J. Zejak, "Target detection Enhancement for the Chirp Radar in the Eclipsing Zone", in *Proc of IEEE ISSSTA 2000, IEEE Sixth International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications*, New Jersey, 2000, pp. 269 - 273.
- [8] K. J. Kelley, C. L. Weber, "Principles of spread spectrum radar", *Proc. of IEEE Military Communications Conference MILCOM'85*, Boston, USA, Oct. 1985, pp. 586-590.

Abstract – To increase maximal radar range, determined with effective radiated energy, pulse duration has to be expanded. However, larger pulse gives higher blind zone, i.e. eclipsing effect is greater than before. In this paper spread-spectrum radar/sonar is proposed with alternate pulse duration as one of possible ways to mitigate eclipsing zone.

SPREAD SPECTRUM RADARS AND SONARS WITH ALTERNATE PULSE DURATION

Aleksa J. Zejak, Igor S. Simić